

黄土高原水蚀的主要类型及其有关因素

朱 显 謨

(中国科学院西北水土保持研究所)

一 概 述

黄土高原系我国陕、甘、青、宁、晋、内蒙等省区广大地面上沉积有厚层黄土的高地。它位于大青山、阴山以南，秦岭以北，贺兰山和青藏高原以东，太行山以西的黄河中游范围内的地方。全区面积共43万平方公里。倘把区内露岩山丘和冲积平原等处除去，则有黄土复盖的高地约共27.56万平方公里（典型黄土高原）。

黄土高原在黄土沉积前的下伏古地貌^[1、2]大体分别为：

1、山西地台的五台、吕梁、中条古陆，屡经造山、剥蚀、沉积过程的影响，形成了太行、吕梁两条平行的褶皱山系和一系列的盆地。拔海1,500米以上的地面主要为石质山地；1,000—1,500米的地面最广，主要是黄土复盖地区，形成不同形状的丘陵；1,000米以下主要为河谷盆地，不仅有黄土沉积，同时也有非黄土性沉积。

2、由鄂尔多斯地台屡经剥蚀、割切而形成的高平原和起伏岗地。地台的上升虽极平缓，但自白垩纪以来，受燕山、喜马拉雅等造山运动的影响，在地台边缘造成了断裂和地堑。拔海2,000—3,000米间以石质山地为主；1,500—2,000米间的高丘，也多少受黄土的复盖；高原内部500—1,500米间，均为厚层黄土所复盖，南部多塬，北部多丘陵。

3、六盘山以西陇中盆地屡经南山运动以来上升下降、剥蚀堆积等影响而形成了一系列的长岗、尖顶山、低缓丘陵和山前平原等。盆地边缘海拔多在2,500—4,000米；盆地内部海拔1,500—2,500米间，为波状起伏的黄土丘陵；葫芦河谷地常形成葫芦状的盆地，海拔仅1,000—1,500米。

各期黄土系在上述古地貌的基础上堆积起来的。由于各期黄土堆积期间，自然条件的变迁、沉积物给源地的远近、各地古地貌基础的差异以及黄土沉积方式的不尽相同，因而形成了目前各地黄土性征和厚度上的差异。这些差异又将影响了黄土沉积后的侵蚀过程的进行和侵蚀地貌的演变。但是大体看来，各期黄土的沉积依然承袭了古地貌形态，仅仅变得稍较平缓而已。大量黄土的沉积势必促使原有沟谷的淤填，有的并为邻近分水岭地带的沟谷改道甚至分水线的变迁创造了条件。

二 水蚀的主要类型

水蚀（即水力侵蚀）的主要类型，我们虽作过一些介绍^[6、9]，但从水的形态及其



照片 1 一次暴雨雨滴直接打击地面所形成的溅蚀现象

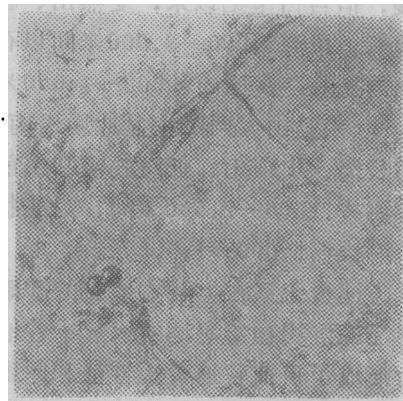
对土壤破离作用来说，必须对雨滴的溅蚀和融雪水的侵蚀给予重视。

1、**溅蚀**——雨滴直接打击地面所产生的土粒跃溅位移作用称溅蚀（照片1）。显然，在雨滴的溅蚀过程中，土壤的侵蚀性系地面土粒发生位移的内在原因，而雨情（雨滴打击地面的动能与雨滴的质量和雨滴下降的速度相联系）是发生溅蚀的外在条件。土壤的侵蚀性系土壤内部亲蚀性和抗蚀性二个相互对立而又相互联系着的方面的统一性和斗争性在一定条件下的具体表现。倘若我们再从土壤内在性征加以研究，则又不难发现土壤侵蚀性是由二组对立而又统一的矛盾所组成。

第一组是亲蚀性和抗蚀性之间的矛盾；而第二组是亲冲性和抗冲性之间的矛盾。为了简便起见，本文下面将直接用土壤的抗蚀性和抗冲性来叙述这二对矛盾在整个土壤侵蚀过程中的作用和表现。

从上述这些基本概念出发，我们就很易发现溅蚀在整个土壤侵蚀过程中的主要作用有：首先是雨滴直接打击土体，在雨滴动能超过土体抗冲力时，雨滴着落处的土块即被击碎，被散离的部分土粒或微小土块又随着溅散的雨滴跃起散落于四周。结果非但土粒或微小的土块发生一定距离（约35厘米左右）的位移，并使地面变得密实，减低渗水性，并对土壤的抗蚀性产生一定的破坏作用（尤其带雹暴雨），同时在一个斜坡上必将产生土壤向下移动的实际。因此，溅蚀也是地面没有径流或在径流发生前的土壤侵蚀。其次，在地面湿润、积水和发生径流的情况下，雨滴的溅散作用虽然相对减少，但由于土壤抗蚀性能的减弱，雨滴动能的搅动和破离土体的作用，反较明显，并将有助于溶蚀和片蚀等的发生和发展（照片2）。

2、**溶蚀**——通常可见二种：一种是土壤形成过程中的淋溶现象，又分化学淋溶和机械淋溶。后者在耕地地面土壤松散而又缺乏一定植物被复的情况下，在暴雨时可见发生。某些地区可能比较明显，但一般下淋作用仅及犁底层而已。另一种是石灰岩或灰质岩层形成喀斯特地形的过程。黄土富含碳酸钙，因此，我们往往把黄土地区所见的洞穴侵蚀，误认为溶蚀作用。其实这与溶蚀作用的关系不大，我们将在以后加以讨论。



照片 2 带雹暴雨在田间所形成的遗迹及其后地面的板结现象

3、**片蚀**（片状侵蚀或称层状侵蚀）——系地面或沟壁土壤表面发生薄层剥蚀悬移的现象。不论降雨、融雪水或灌溉水等，只要其量大于土壤渗透量时，地面即发生径流。也不论被雨滴直接击散、被水溶解分散或被径流紊动散离的土体，只要能被那时所

生径流动能带动者，将随着径流的流向流动。由于那时径流比较分散，动能也很小，因此一般仅能携带被溶解的物质和呈悬浮状的微细土粒或滚动微凝聚体等，所以片蚀一般以悬移为主。当然在有些情况下，尤其在斜坡较大较长的中下部，也有伴生较粗土粒或较大凝聚体的推移现象。但是，无论如何，片蚀不会在地面留下被径流刻划的明显沟痕。因此，我们又常认为，片蚀又是土壤的流失现象。

片蚀的结果，使地表土壤变薄、变粗、变瘦。因其作用缓慢、均匀，故常不易为人们所觉察。这对农业生产来说，为害极大。更因其面广量大，并为其他水蚀现象发生的动力和前导，所以对水土流失的影响至大且巨。

旱地片蚀强度，一般以土壤发生剖面被蚀去的厚度或残留土壤剖面的层次来加以划分。但在黄土地区，由于黄土深厚疏松和富含矿质养分，即使在土壤剖面全部被蚀去的情况下，仍被继续耕垦，因而还遭受不断的侵蚀。我曾将它们分别命名为剖面片蚀和母质片蚀^[6、10]。后者侵蚀的实际强度，在一定的情况下，在地面斜坡 35° 以下时常和地面的坡度大小成正相关，因此以斜坡的坡度作为划分母质片蚀强度的标准。一般高平原和高阶地的地面比较平坦，土壤剖面大部保存完整，同时，群众又有施加土粪的习惯，因此原来土壤剖面顶部，常见有厚薄不等的复盖层出现。有关这方面的侵蚀动态及其强度的划分，我们就必须依据地理对比的方法来加以区别，即以比较平坦的分水岭地段的堆积厚度为标准加以鉴别。在这方面群众也有个简便识别的标准^[6—11]，即在雨时观察地面径流的实际动态，并分为“四角不走水地”、“走水地”、“过水地”和“积水地”等。一般“走水地”又有慢、紧之分；但在“紧走水地”的下部，常见有细沟的出现。

我也曾将丢荒地上缺乏植物被复或植被被人畜破坏而形成的裸露地面上出现的片蚀现象，特称为鳞片状侵蚀，并以地面被复度或地面土体裸露面积，作为划分侵蚀等级的标准^[5、6]。根据我们多年的实地调查，黄土高原片状侵蚀的实际情况，可以概括成图1来表示。

4、沟蚀——坡面径流集中到足以将地面刻划成一定形状的沟纹时，就标志着沟蚀的开始。显然，沟蚀作用已不限于悬移，并随着径流动能的增加而推移作用逐渐加强，则推移现象也愈益明显。可见沟蚀作用以冲刷为主，并完全决定于地面土壤的抗冲性能和径流动能（流量及流速）二者相对立的方面。

以往我们曾将沟蚀划分为细沟、浅沟和切沟三种（照片3—5），并以单位面积上出现的沟道密度或沟道体积作为划分沟蚀强度的依据^[6、9、12]。此外如悬沟和洞穴侵蚀等，实质上也是沟蚀的一种变异，或为侵蚀沟的一部分，我们将在下节加以阐述。

坡面上的沟蚀，不论其形状、大小，其纵断面将与斜坡相一致；横断面则常因斜坡的利用情况、沟身切入土层的抗冲性能、侵蚀沟的不同种

类及其发育阶段而有差异，不过大体上常沿着槽形或V形→U形→梯形的顺序发



照片3 农地细沟侵蚀

展。切入塬面的切沟，除沟尾带有悬沟和陷穴外，底部也常出现跌穴、土跌水甚至天然桥等（照片6—7）。比较后期的切沟邻近沟口一段，由于淤填和下切作用较弱等关系，纵断面也就不再和斜坡相一致，而其本身也就渐向冲沟过渡。



照片 4 一场20毫米暴雨所形成的浅沟

照片 5 黄土地地上常见的切沟

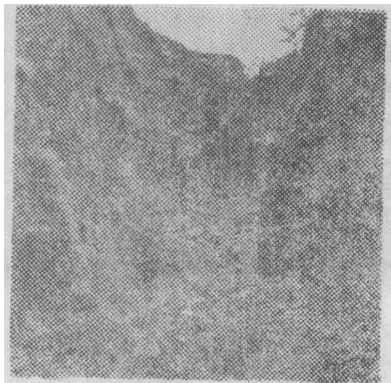


图 1

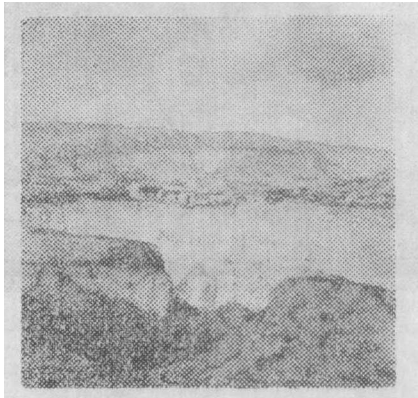
5、**沟道侵蚀**——斜坡以下，从冲沟开始，就进入地表径流的自然流道系统，即一般包括支、毛、干沟甚至江、河、大川的水路网系统。毫无疑问，它们都是古代自然侵蚀的产物，而非现代由于人为活动引起的加速侵蚀的产物。但是，现代加速侵蚀所汇集的地表径流，将通过它们而流入大海或内陆湖泊，这样就难免在沿途发生侵蚀和堆积的作用，尤其对冲沟的侵蚀作用比较明显而强烈。从现代侵蚀对它们的影响来说，主要有沟尾的溯源侵蚀、沟壁扩张和沟床底部淘蚀冲刷等（照片8—10）。其现象和形式也不外位于沟尾部分的悬口或悬沟、砭、陷穴、塌陷、天然桥、水泊泊（聚水盆）、崩落锥（塌土堆）等；见于底部的土石跌水、跌穴、天然桥、槽形沟槽；见于沟壁部分的堤岸崩塌、滑坡、泻溜等。看来沟道部分的侵蚀已不局限于水蚀，因此，我们将在有关节段中加以阐述。图2是沟状侵蚀类型及其分布。



照片6 带有悬口、跌穴、土跌水及陷穴等的切沟



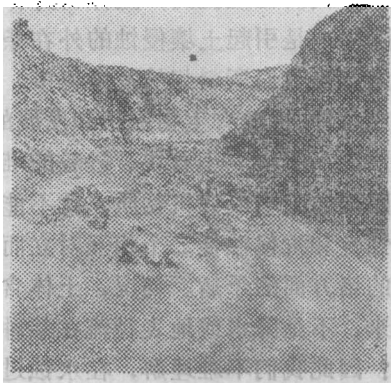
照片7 横架在切沟上的天然桥（由水刷窝、黄土穴发展而来）



照片8 沟头上溯破坏掌地及村镇一例



照片9 沟道侧蚀所形成的黄土崩塌



片10 沟道侵蚀所形成的沟口泥洪和泥团的堆积



三 影响水蚀的有关因素

上面我们已经提到，土体自身存在的矛盾是发生土壤侵蚀的根本原因，而地表径流（或降雨）是引起土壤侵蚀的外在条件。但是土壤侵蚀这个自然现象，决非如此简单，事实上要比我们所料想的复杂得多。非常明显，没有水就没有土壤或至少缺乏土壤粘粒的形成条件，也没有生物滋长和发展的条件。岩石经过长时期的单纯热力风化的结果，仅仅能形成一层由大小石块、砂粒的堆积物体。这个堆积物，或也叫做风化壳，由于缺乏胶结团聚的无机或有机物质，就不能成为一个统一的自然体，同时又没有不断发展着的亲蚀性和抗蚀性二个相互对立而又相关联着的方面，更不显抗蚀性和抗冲性间所存在着的诸方面的矛盾。何况，土体含水量的多少又直接影响土壤的抗冲和抗蚀性能。这样一来，不是降水或地表径流在某种情况下又可以不同的形式参予土体自身所存在的矛盾吗？因此我们不难理解，在水蚀过程中，水虽常表现为土壤侵蚀的外在条件，但在某种程度上，它又和土体内部存在的矛盾紧密联系。另外，就土壤形成过程和土壤侵蚀来

说，又是自然界中固有的矛盾统一的现象。

为了便于分析和说明人为生产活动对土壤侵蚀的影响，我们不得不先提出上面一些看法。现在再回过头来，探讨一下和这些矛盾有关的因素。为了叙述方便起见，先从气候因素说起。气候是主要成土因素之一，它对于岩体风化和成土过程的影响至大且巨，我们将在后面叙及土壤抗蚀抗冲性能时加以分析，此处着重介绍一降水的作用。

黄土地区的降水特点主要有五^[13]：1、春旱严重；2、夏雨集中而暴雨猛烈；3、秋雨分布不均；4、冬雪稀少；5、年季变化皆大。年平均降水量东南部较多（650毫米上下），西北部较少（350毫米上下）；降水时间集中，7—9月降雨量占全年降水量的一半，有的竟达70%，且常以暴雨和带雹的方式降落80%的暴雨在一天中消失。据肖水沟石湾站的记录：1971年7月23日一次降雨，历时6小时25分，总雨量达212.6毫米，为当年全年降水量43.5%。1977年8月1—2日晨8小时内，乌胜旗附近降雨1,400毫米，相当于四年半的总降水量。通常一次暴雨的降雨量可达全年降水量的10%左右，一次暴雨中短历时降雨强度可达到2毫米/分钟以上。看来暴雨尤其带雹暴雨的为害作用最大。正如前面我们已经提到，首先是雨滴直接打击地面发生的溅蚀和扰动破离土体的作用，其次才为超渗径流所引起的流失和冲刷。集中降雨，形成明显的干湿季节。干时地面松散成尘，非但易被风力扬起和雨滴溅散，也易被下渗水带入土体堵塞土壤孔隙，促使超渗径流的发生，导致雨季前期相似暴雨侵蚀常较明显的现象。

天水水保站1945—1953年径流小区的观测资料(图3)表明，6—8月降雨量占全年降水量47.8%，而其径流量占年总径流量的78.5%，侵蚀量竟占年侵蚀总量的81.7%。天水1945—1956年12年内降水1157次，发生径流仅81次，占7%

(图4)。从统计资料中还可看出，7次50.1—100毫米降雨量中，也有二次并未发生径流。可见只有在单位时间内的降雨量超过土壤的渗透能力时，才会发生径流，而地面径流又是土壤侵蚀的主要条件。

因此，土壤侵蚀的强度，在其他条件相同或相似的情况下，将取决于降雨的强度。绥德韭园沟一次暴雨所造成的土壤侵蚀，占全年侵蚀总量的40%以上；丰水年的1958年与枯水的1955年的侵蚀模数相差62倍(表1)。降雨量愈大，其中包含较大强度的降雨的可能性也愈大，因此，一般来说，降雨量愈大，水土流失就有逐渐增大的趋势。

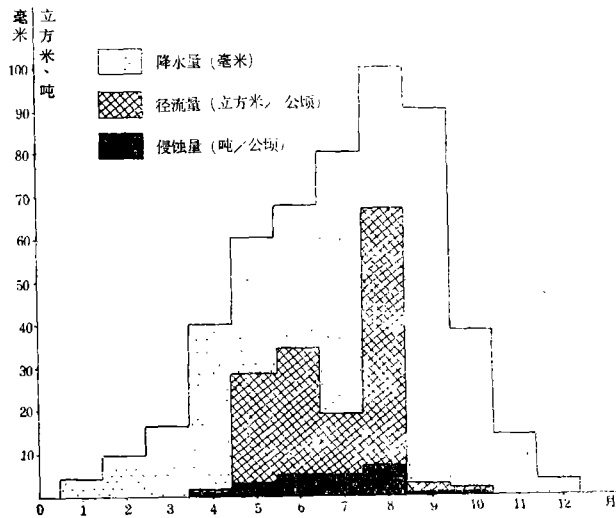


图3 天水站1945—1953年逐月平均降雨量和水土流失量比较

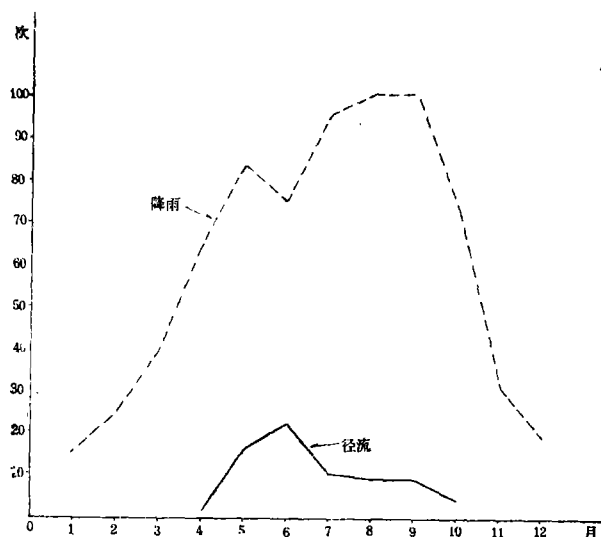


图4 天水站1945—1956年不同月份不同降雨量的降雨和径流次数统计

表1

韭园沟集水区不同降雨的土壤侵蚀量

时 间 (年.月.日)	一次降雨		其中短历时暴雨		径 流 模 数		侵 蚀 模 数	
	集水区 平均雨量 (毫米)	历时 (小时)	强 度 (毫米/分)	历时 (分)	(立米/平方公里)	占全年 (%)	(吨/平方公里)	占全年 (%)
1956.8.8	45.1	2.40	2.0	7.0	21,100	46.0	18,500	50.5
1959.8.19—20	97.9	18.90	0.8	10.0	15,200	35.0	12,150	40.4
1961.8.1	57.7	3.14	3.3	10.0	32,100	67.2	26,200	76.6
1964.7.5	129.1	18.81	1.1	8.0	17,200	49.2	15,600	58.0
1966.7.17	78.8	5.74	2.8	5.0	53,940	85.0	29,100	86.5
7.19	46.2	7.30	2.1	10.0				
1958 (汛期)	506.2				50,700		39,600	
多年平均(汛期)	362.0				24,300		18,100	
1955 (汛期)	285.6				1,550		637	

绥德水保站将1956年三次降雨量接近而降雨强度不同的观测资料，在24个径流小区上所产生的径流量和冲刷量的平均值作了比较（表2），从而得出降雨强度比为1:25:60；径流量比为1:15.4:47.7；而冲刷量比为1:37:233，可见相差悬殊。

根据各地的观察资料，雨或大暴雨对土壤侵蚀的影响非常显著，一年或几年中，少数几次暴雨所产生的土壤侵蚀量，往往占总侵蚀量的主要部分。1977年秋，陕北一场暴

表 2

降雨强度对径流量和冲刷量的影响 (绥德水保站)

降雨日期	平均降雨量 (毫米)	降雨历时 (分)	平均降雨强度 (毫米/分)	径流量		冲刷量	
				立米/公顷	比例	吨/公顷	比例
1956年7月3日	43.4	805	0.054	6.68	1.0	0.60	1
1956年7月22日	40.0	292	0.137	103.02	15.4	22.36	37
1956年8月8日	49.3	150	0.329	292.13	43.7	139.82	233

雨(118.1—225毫米),在志丹、安塞、子长、米脂、绥德、清涧和陇东环县、庆阳等处约900平方公里面积的范围内冲毁农田不少,人畜均有伤亡。延安市冲毁大桥一座,就是韭园沟内二十年来建成的坝系也被冲毁。这次通过三门峡的泥沙达9亿多吨,除沿河各处留下4亿吨外,其余5亿吨均流入渤海。同年夏季,洛川塬上一次带雹暴雨,非但将禾苗打光,耕层打平、变性、板结,且在表面留下很多圆形坑洼,大的直径3厘米以上,深达2厘米左右(照片2)。1947年8月8—13日,一次降雨155.2毫米,天水站一个种芥麦小区上的冲刷量达6,665吨/平方公里,占13年来(1945—1957)总冲刷量的33.5%;1956年8月8日一次暴雨,在绥德一个种谷子的小区上所引起的侵蚀量,占其当年侵蚀总量的81.2%〔14〕。冬季降雪虽少,但部分地区也常见融雪水的侵蚀现象。

降水侵蚀力是引起降雨侵蚀的潜在能力,它是降雨有关物理性质的函数。降雨侵蚀力与雨滴能量、降雨强度等指标有着密切的关系。降水侵蚀力直接决定土壤侵蚀的程度,并且通过某些降雨指标,可以准确计算出降水侵蚀力的数值。根据周佩华等对全国降水侵蚀力的划分,黄土地区的降水侵蚀力属微、轻二级,但黄土地区的土壤侵蚀又属全国之首。1977年8月内蒙和榆林间的砂丘地区,24小时降雨高达1,400毫米,也未酿成多大灾难。这些情况足以表明,黄土地区和风沙土地区土壤侵蚀内因的特殊性,并也明确指出了不同地区今后水土保持工作各自的正确方面和途径。

(一)

新书介绍:

《陕西土地资源及其合理利用》

本书由朱显谟同志主编,即将由陕西科技出版社出版。全书共约14万字,附有陕西省土壤图、土地类型分区图、土地合理利用区划图及各种土地类型等方面的照片50幅。这些是根据作者等人20余年工作中积累的资料整理编写而成,内容很丰富。书中系统地分析了陕西省的农业自然资源、土地类型及其演变、土地利用状况与评价,并对土地合理利用提出了新见解等,力图从生态平衡与当地土地演变规律中提出了土地合理利用的方向与途径。